

Состояние работ по сооружению УНК

К.П. Мызников

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия

Введение

Основу проекта ускорительно-накопительного комплекса ИФВЭ (УНК) изначально составлял сверхпроводящий ускоритель протонов на энергию 3000 ГэВ с возможностью вывода пучка на внешние мишени [1]. В качестве бустера для сверхпроводящего ускорителя должен быть использован ускоритель на энергию 400 ГэВ из теплых магнитов. Оба ускорителя располагались в одном тоннеле диаметром 5 м и длиной периметра 21 км. Ход работ по разработке элементов и систем обоих ускорителей и по сооружению комплекса УНК неоднократно обсуждался на предыдущих совещаниях по ускорителям [2,3]. В проекте УНК предусмотрено дальнейшее развитие комплекса, связанное с организацией встреч протонных пучков с энергиями $0.4 \times 3\text{ТэВ}$ [2]. Размеры тоннеля и мощность энергосистем позволяют соорудить в тоннеле второе сверхпроводящее кольцо и осуществить в дальнейшем режим pp-встреч с энергиями $3 \times 3\text{ТэВ}$ [4].

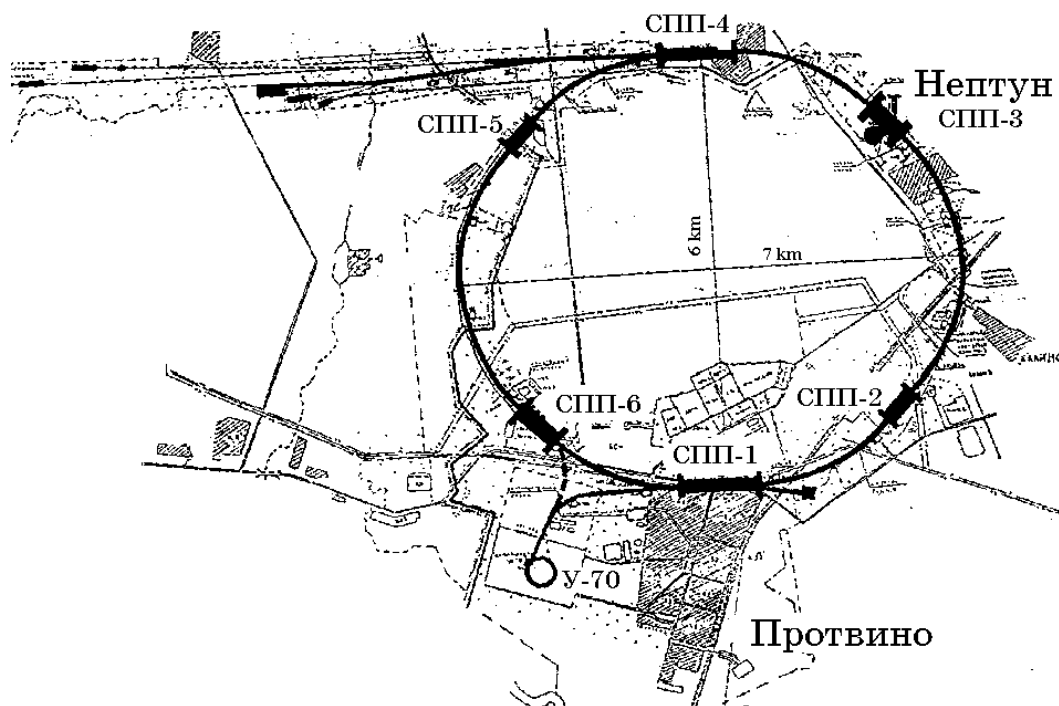


Рис.1. Схема УНК-600 и его расположение на местности.

В связи с резким уменьшением объема финансирования программы УНК в 1993 г. Комитетом научной политики по государственной научно-технической программе “Физика высоких энергий” было принято решение сосредоточить усилия на сооружении первой ступени УНК. Следуя этому решению, был скорректирован проект УНК. Его первая ступень, которая раньше была спроектирована как бустер СП-ускорителя, выполнена как самостоятельный ускоритель на энергию 600 ГэВ (УНК-600) с возможностью вывода пучка в экспериментальную зону [5]. Была рассмотрена программа физических исследований под углом зрения использования главного преимущества УНК-600 — сочетания высокой энергии с высокой интенсивностью пучка [6]. Кроме экспериментов с выведенным пучком на внешних мишенях признано целесообразным подготовить в качестве первоочередного эксперимент “Нептун” на циркулирующем пучке с внутренней струйной мишенью [7].

Все это потребовало внести существенные изменения в структуру прямолинейных промежутков, изменить систему коррекции магнитного поля, систему вывода протонов, режим источников питания и т.п. В настоящем докладе сообщаются характеристики УНК-600 и ход его сооружения.

1. Основные характеристики

На рис.1 показана схема УНК-600 и расположение его на местности. В качестве инжектора будет использоваться существующий ускоритель с энергией 70 ГэВ (У-70). Предусмотрена реконструкция этого ускорителя с целью повышения его надежности и интенсивности. По геологическим условиям УНК-600 удален от У-70 в северном направлении. Поэтому пучок из У-70 транспортируется по протяженному каналу инъекции длиной 2,7 км, затем инжектируется в прямолинейный промежуток СПП-1. В этом промежутке сосредоточено основное технологическое оборудование. Помимо системы инъекции в нем размещаются система в.ч. ускорения пучка [8], система локализации потерь и аварийного вывода пучка [9].

Прямолинейный промежуток СПП4, расположенный в северной части кольца, предназначен для вывода ускоренного пучка в направлении экспериментальной базы. Структура и оптическая схема промежутка выбраны из условий вывода полной интенсивности ускоренного пучка с расчетной эффективностью 98%. Подземный зал для экспериментального комплекса “Нептун” расположен в районе прямолинейного промежутка СПП3, в котором циркулирующий пучок будет взаимодействовать с внутренней струйной мишенью [10]. Основные параметры УНК-600 приведены в табл. 1.

Для накопления высокой интенсивности пучка при энергии инъекции создается плато магнитного поля длительностью 72 с, что позволяет 12 раз инжектировать пучок из У-70, последовательно заполняя орбиту УНК-600. Время ускорения пучка до энергии 600 ГэВ составляет 20 с, плато для вывода пучка -20 с. Суммарная продолжительность цикла ускорения составляет 120 с. При условии, что интенсивность инжектора У-70 будет увеличена до 5×10^{13} протонов в импульсе, максимальная интенсивность в УНК-600 может составлять 6×10^{14} протонов в импульсе, а средняя интенсивность — 5×10^{12} протонов в секунду.

Медленный вывод пучка длительностью 20 с будет осуществляться с помощью нелинейного резонанса 3-го порядка $3Q_r = 110$. Для улучшения временной структуры выводимого пучка предусматривается шумовая раскачка продольных колебаний.

С этой целью будет использован продольный фазовый в.ч. шум, воздействующий на сгруппированный пучок. Система вывода может осуществлять также многократный быстрый резонансный вывод пучка длительностью 2-3 мс с интервалом 2 с. Предусмотрена возможность однооборотного вывода полной интенсивности или ее части за время 65 мкс.

Максимальная энергия, ГэВ	600
Энергия инъекции, ГэВ	65
Длина орбиты, м	20771.9
Максимальная напряженность магнитного поля, Тл	1
Напряженность магнитного поля при инъекции, Тл	0.108
Длительность цикла, с	120
Время ускорения, с	20
Кратность ускоряющего поля	13860
Частота ускоряющего напряжения, МГц	200
Суммарная амплитуда в.ч. напряжения, МВ	7
Критическая энергия, ГэВ	42
Средний ток пучка, А	1.4

При работе на установку “Нептун” при энергии 600 ГэВ пучок может взаимодействовать с внутренней мишенью в течение 20 с одновременно с медленным выводом. Предусмотрен режим работы УНК–600 только на установку “Нептун”. В этом случае пучок ускоряется до энергии 400 ГэВ и может взаимодействовать с внутренней струйной мишенью в течение часа.

2. Сооружение УНК–600

2.1. Канал инъекции

Канал инъекции служит для перевода пучка из У–70 в УНК–600. Плоскость орбиты УНК на 6 м ниже чем в У–70, поэтому канал имеет участки поворота в обеих плоскостях, согласуясь с рельефом местности и геологическими условиями [11]. В горизонтальной плоскости имеется протяженный участок магнитов, обеспечивающий поворот пучка на 64° по направлению касательной к орбите УНК–600. Ионно-оптическая система обеспечивает согласование фазового объема пучка, выведенного из У–70, со структурой участка поворота, а также со структурой УНК–600 после поворота.

Канал инъекции представляет собой жесткофокусирующую периодическую ФОДО систему, предназначенную для транспортировки пучка с энергией в диапазоне 60–70 ГэВ, эмиттансом 2 мм·мрад и импульсным разбросом 2×10^{-3} . Он состоит из 88 квадруполей, 52 диполей и 56 корректирующих магнитов. Система диагностики пучка содержит 46 датчиков положения пучка, 26 измерителей профиля, измеритель интенсивности, а также измерители ореола и потерь пучка.

В 1994 году был осуществлен запуск канала с протонным пучком. Малая доля пучка интенсивностью 1.5×10^{12} (5 банчей из 30) ускорялась в У-70 до энергии 65 ГэВ. Затем пучок на плато магнитного поля перезахватывался с частоты ускоряющего поля У-70 6 МГц на частоту УНК-600 200 МГц [12]. После этой операции пучок с помощью системы однооборотного вывода У-70 направлялся в канал инжекции и транспортировался до поглотителя, расположенного в конце поворотной части на расстоянии 2 км от точки вывода. Как показали измерения, размеры пучка в канале хорошо совпали с расчетными, а стабильность его положения удовлетворяла условиям инжекции в УНК.

При запуске канала инжекции был испытан прототип системы управления УНК, разработанный в сотрудничестве с Европейской организацией CERN [13].

2.2. Кольцевой тоннель

Закончена проходка и постоянная обделка всего кольцевого тоннеля длиной 21 км. В южной части тоннеля завершены отделочные работы в двух секциях общей протяженностью 11 км. Из них около 3 км подготовлены к монтажу оборудования ускорителя. Здесь завершён монтаж технологических трубопроводов, кабелей, силовых шинопроводов и освещения, установлены опоры под электромагнитное и вакуумное оборудование (рис. 2). Монтаж электромагнитного оборудования на первоочередном участке длиной 1,5 км будет начат в этом году после обеспечения в тоннеле температурно-влажностного режима. Предполагается полностью смонтировать участок УНК-600, составляющий $\frac{1}{12}$ его регулярной части, с системами энергопитания, охлаждения и управления в объёме, необходимом для проведения наладочных работ. Заканчивается сооружение комплекса 3 наземных зданий, предназначенных для жизнеобеспечения первоочередного участка (энергетика, отопление, вентиляция).



Рис.2. Участок тоннеля, подготовленный к монтажу оборудования.

Разработана методика высокоточной установки оборудования в тоннеле УНК [14]. Ведется наблюдение за стабильностью основания тоннеля в течение длительного времени. Анализ влияния ошибок установки магнитов и возможных смещений тоннеля на динамику частиц представлен на этом совещании в отдельном докладе [15].

В районе СППЗ заканчивается сооружение подземного зала для экспериментальной установки “Нептун” размером $15 \times 60 \text{ м}^2$, расположенного на глубине 57 м. К настоящему времени выполнено 95% строительных работ.

2.3. Оборудование УНК–600

Табл. 2 показывает состояние дел по изготовлению оборудования УНК–600 на сентябрь 1996 года.

Оборудование	Требуемое количество	Имеется в наличии
Диполи	2196	1550
Квадруполи	503	473
Корректоры	1180	1180
Источники питания магнита	25	13
Ускоряющие резонаторы	16	8
В.ч. генераторы	8	3
Вакуумная камера	23.7 км	17 км
Измерители положения пучка	550	150

Из таблицы 2 видно, что около 70% общего количества оборудования уже поступило в ИФВЭ.

Согласно результатам магнитных измерений на заводе-изготовителе, все диполи и квадруполи удовлетворяют требованиям по качеству магнитного поля [16]. На рис.3 приведены гистограммы разброса интегральных полей магнитов. Относительный среднеквадратичный разброс эффективных длин диполей и квадруполей на уровне поля инжекции не превышает 1×10^{-3} и существенно уменьшается на больших полях. Гармонический состав поля в рабочей апертуре 35 мм удовлетворяет предъявляемым требованиям.

Разработана методика расстановки диполей по кольцу ускорителя по результатам магнитных измерений с учетом магнитной структуры УНК [17], которая позволяет значительно уменьшить искажения замкнутой орбиты.

В настоящее время на испытательных стендах в ИФВЭ ведутся предмонтажные испытания оборудования. Испытано более 200 магнитов. Характеристики хорошо совпадают с заводскими измерениями.

Проводятся испытания вакуумной камеры, откачного оборудования и запорной арматуры. Изготовлена вакуумная камера и откачное оборудование всех 160 периодов регулярной структуры (исключая прямолинейные промежутки). Ее общая протяженность составляет около 17 км, а количество магниторазрядных насосов 2900 штук; испытано около 700 насосов. Результаты стендовых испытаний удовлетворяют техническим требованиям.

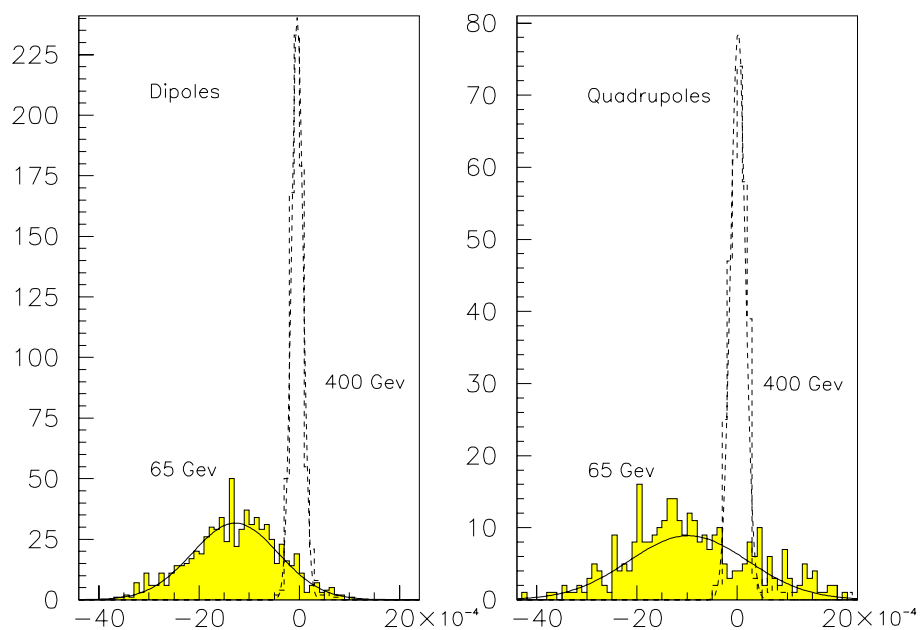


Рис.3. Результаты измерений разброса интегральных полей магнитов.

Проведены предмонтажная сборка и испытания вакуумной системы периода магнитной структуры протяженностью 100 м совместно со штатным откачным оборудованием. Предварительно на заводе-изготовителе участки вакуумной камеры прогревались до температуры 400°C в течение 6 часов, затем перед монтажом производилась обработка поверхности камер разрядом в аргоне. Такая процедура очистки предусмотрена после установки камеры в каждый магнит. Без прогрева в собранной камере был получен вакуум 2×10^{-9} тор, а после 2000 часов откачки он был улучшен до 3×10^{-10} тор, что применимо даже для коллайдерного режима. В настоящее время ведется сборка прошедших стендовые испытания диполей с вакуумными камерами и подготовка их к установке в тоннеле УНК (рис.4). Собрано более 50 диполей.

Высокочастотная ускоряющая система УНК-600 состоит из восьми модулей. Каждый модуль содержит пару ускоряющих резонаторов, питаемых через квадратурный мост от мощного в.ч. усилителя. Усилители вместе с источником питания располагаются в специальном здании на поверхности земли и соединяются с ускоряющим модулем волноводным фидером длиной около 50 метров. В.ч. усилитель имеет выходную мощность 800 кВт в непрерывном режиме, которая складывается из четырех каскадов, в каждом из них используется специально разработанный тетрод ГУ—101А мощностью 250 кВт. Все источники питания и три из восьми усилителей мощности получены из промышленности и проходят комплексные испытания на специально изготовленном стенде. Волноводы и резонаторы изготавливаются в ИФВЭ. Около 60% этого оборудования уже изготовлено и проходит испытания. Один из ускоряющих модулей установлен на У-70 и в течение длительного времени испытывается с пучком в режиме перзахвата на частоту 200 МГц [12].

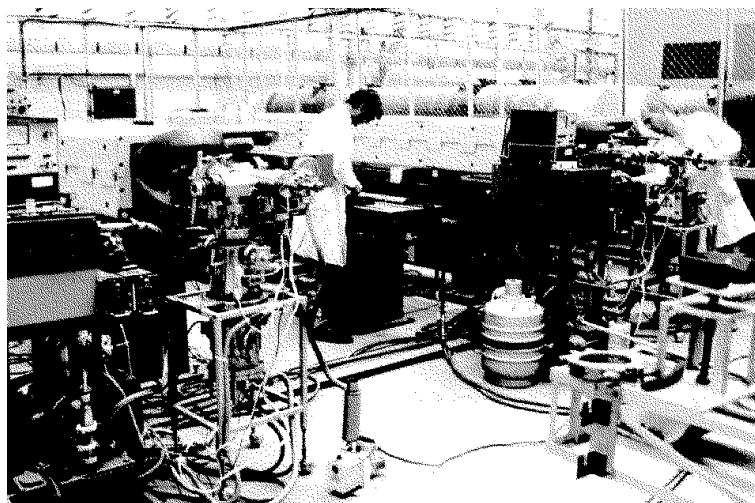


Рис.4. Сборка диполей с вакуумными камерами.

Половина источников питания кольцевого электромагнита поставлена из промышленности. Один из них прошел стендовые испытания и был использован для питания поворотной части канала инжекции. Испытания его на канале показали, что он по своим характеристикам удовлетворяет требованиям, обеспечивающим режим работы УНК-600.

Одновременно ведется подготовка экспериментальной установки "Нептун". Разработана и изготовлена поляризованная струйная мишень и начаты ее испытания (Мичиганский университет США). Изготовлено 70% экспериментального оборудования установки "Нептун", начата ее поузловая наладка.

Заключение

Несмотря на трудности финансирования строительства УНК, его сооружение продолжается, хотя и замедленными темпами. Ведутся работы по модернизации У-70. Сооружен канал инжекции и произведен его физический запуск, около трех километров кольцевого тоннеля подготовлено к началу монтажа магнитов. Более 200 диполей прошли предмонтажные испытания и более 50 из них собраны с вакуумной камерой и готовы к установке в кольцо на первоочередном участке. Их монтаж будет начат в ноябре 1996 г. Очередной этап — сооружение первоочередного участка кольца УНК-600 длиной 1,5 км — предполагается завершить в 1997 году.

Список литературы

- [1] V.I. Balbekov at al. – In: Proceed. of XII Intern.Conf. on High Energy Accel., Batavia, 1983, p.40.
- [2] К.П. Мызников. – Труды XII Всесоюзного Совецания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1992, т.2, стр.327.

- [3] К.П. Мызников. – Труды XIII Совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1991, т.1, стр.43.
- [4] А.И. Агеев и др. – Труды XI Всесоюзного Совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1989, т.2, стр.433.
- [5] К.Р. Музников – Proceed. of Workshop "UNK-600", Protvino, 1994, p.3.
- [6] Материалы рабочего совещания "УНК-600". — Протвино, 1994.
- [7] V.L. Solovianov. Proceed. of Workshop on the Experimental Program at UNK (Sept. 14-16, 1987), Protvino, 1988, p.191.
- [8] В.В. Каталев и др. – Труды VIII Всесоюзного Совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1983, т.1, стр.138.
- [9] И.С. Байшев и др. – Труды VIII Всесоюзного Совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1983, т.1, стр.268.
- [10] A.D. Krisch – Proceed. of Workshop "UNK-600", Protvino, 1994, p.17.
- [11] А.И. Агеев и др. – Труды XIV Совещания по ускорителям заряженных частиц, Протвино, 1994, т.2, стр.270.
- [12] О.В. Буянов и др. – Труды XI Всесоюзного Совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1989, т.1, стр.211.
- [13] А.И. Агеев и др. – Труды XIV Совещания по ускорителям заряженных частиц, Протвино, 1994, т.2, стр.152.
- [14] Ю.И. Кирочкин и др. – Препринт ИФВЭ 91-19, Протвино, 1991.
- [15] Ю.И. Кирочкин и др. Оценка влияния ошибок юстировки магнитов на искажения замкнутой орбиты УНК-600. Доклад на настоящем совещании.
- [16] Ю.М. Носочков и др. – Препринт ИФВЭ 91-65, Протвино, 1991.
- [17] И.И. Петренко и др. – Труды XIV Совещания по ускорителям заряженных частиц, Протвино, 1994, т.4, стр.64.